



(11)

EP 4 575 587 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
25.06.2025 Bulletin 2025/26

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
G01V 1/01 (2024.01)

(21) Numéro de dépôt: **24220901.3**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
G01V 1/01

(22) Date de dépôt: **18.12.2024**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA
Etats de validation désignés:
GE KH MA MD TN

(72) Inventeurs:
• **BASTURK, Ahmet Samed**
92270 BOIS-COLOMBES (FR)
• **SABRAOUI, Abbas**
92270 BOIS-COLOMBES (FR)
• **ABID, Oussama**
92270 BOIS-COLOMBES (FR)

(30) Priorité: **21.12.2023 FR 2314781**

(74) Mandataire: **Novagraaf Technologies**
Bâtiment O2
2, rue Sarah Bernhardt
CS90017
92665 Asnières-sur-Seine Cedex (FR)

(71) Demandeur: **SAGEMCOM ENERGY & TELECOM SAS**
92270 Bois-Colombes (FR)

(54) MÉTHODE ET DISPOSITIF DE DÉTECTION DE SÉISMES

(57) Est décrite une méthode de détection d'un séisme comprenant :

- la réception d'un signal représentatif de mesures d'une accélération en trois dimensions du dispositif en fonction du temps;
- le filtrage fréquentiel du signal;
- la détermination, à partir du signal filtré, de données représentatives de directions de l'accélération en fonction du temps ;
- un séisme étant détecté si
 - a) la magnitude de l'accélération est supérieure à un premier seuil et les directions de l'accélération sont sensiblement colinéaires entre elles pendant un premier intervalle de temps; ou
 - b) les directions de l'accélération sont sensiblement colinéaires entre elles pendant un second intervalle de temps et que les directions de l'accélération sont sensiblement colinéaires entre elles pendant un troisième intervalle de temps postérieur au second intervalle de temps, et que les directions de l'accélération du second intervalle et du troisième intervalle sont sensiblement orthogonales.

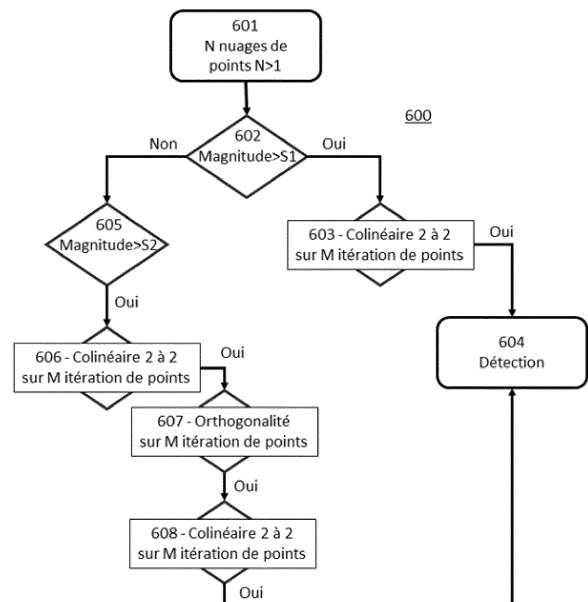


Fig. 6

EP 4 575 587 A1

Description

Domaine technique

- 5 **[0001]** Sont décrits une méthode et un dispositif de détection de séismes. La méthode et le dispositif peuvent notamment être utilisés pour déclencher des alertes et des actions de sécurisation, par exemple de sécurisation d'un système de distribution d'une ressource.

Arrière-plan technique

- 10 **[0002]** Certains systèmes de détection de séisme mettent en oeuvre des capteurs de vibrations ou des capteurs de pression acoustique. De tels systèmes peuvent être coûteux et difficiles à installer. De tels systèmes peuvent aussi mettre en oeuvre des modèles prédictifs entraînés (apprentissage machine), mais nécessitent des ressources de calcul qui peuvent être importantes. De telles ressources ne sont pas disponibles dans certains contextes d'utilisation.
- 15 **[0003]** Il est par conséquent souhaitable de disposer d'une méthode pour détecter un séisme qui soit économique en termes de ressources de calcul.

Résumé

- 20 **[0004]** Un ou plusieurs modes de réalisation concernent une méthode de détection d'un séisme mise en oeuvre par un dispositif comportant au moins un processeur et une mémoire comportant du code logiciel, l'au moins un processeur amenant le dispositif à mettre en oeuvre la méthode lorsqu'il exécute le code logiciel, la méthode comprenant :
- 25 - la réception d'un signal représentatif de mesures d'une accélération en trois dimensions du sol dispositif en fonction du temps, le signal étant reçu d'un capteur accéléromètre ;
 - le filtrage fréquentiel du signal, le filtrage étant configuré avec une fréquence de coupure basse et une fréquence de coupure haute pour exclure au moins des fréquences ne correspondant pas à des fréquences d'ondes sismiques ;
 - la détermination, à partir du signal filtré, de données représentatives de directions de l'accélération en fonction du temps ;
 - 30 - un séisme étant détecté si
 - a) la magnitude de l'accélération est supérieure à un premier seuil et les directions de l'accélération sont sensiblement colinéaires entre elles pendant un premier intervalle de temps; ou
 - 35 b) les directions de l'accélération sont sensiblement colinéaires entre elles pendant un second intervalle de temps et que les directions de l'accélération sont sensiblement colinéaires entre elles pendant un troisième intervalle de temps postérieur au second intervalle de temps, et que les directions de l'accélération du second intervalle et du troisième intervalle sont sensiblement orthogonales.
- 40 **[0005]** La méthode utilise des données issues d'un accéléromètre en trois dimensions. Un tel capteur peut être simplement intégré dans ou relié à un dispositif comportant des ressources en calcul relativement modestes pour traiter les données du capteur. Un tel dispositif peut par exemple être un dispositif compteur d'une ressource et qu'il peut être nécessaire de sécuriser.
- [0006]** L'invention permet donc de proposer un dispositif de détection locale d'un séisme pour un coût modique. La détection locale permet d'agir en conséquence pour déclencher des actions de sécurisation, même quand le dispositif
- 45 **[0007]** Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, les fréquences de coupure sont adaptées pour exclure des fréquences correspondant à du bruit en provenance de l'environnement du dispositif.
- [0008]** Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, la détermination de données représentatives de directions de l'accélération en fonction du temps n'est effectuée que si une magnitude de l'accélération dépasse un second seuil avant
- 50 le filtrage du signal et dépasse un troisième seuil après le filtrage du signal.
- [0009]** Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, les second et troisième seuils sont adaptés pour être au-dessus de magnitudes d'accélérations correspondant à du bruit en provenance de l'environnement du dispositif.
- [0010]** Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, la méthode comprend l'adaptation des fréquences de coupure, respectivement l'adaptation du second seuil et du troisième seuil, en fonction de données labellisées historiques de
- 55 l'accélération dans un lieu de fonctionnement du dispositif.
- [0011]** La méthode comporte un calibrage de certains seuils pour prendre en compte le bruit ambiant et éviter ou du moins limiter ainsi les déclenchements intempestifs, tels que des faux positifs ou faux négatifs. Avantagusement, ce calibrage est réalisé à l'aide de données historiques labellisées.

[0012] Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, une détermination de la colinéarité de directions de l'accélération est effectuée, comprenant :

- la détermination d'un hyperplan par rapport à N points de mesure consécutifs issus du signal et la détermination d'une direction normale à ce plan, avec $N > 1$;
- l'itération de l'étape précédente sur M ensembles de N points d'un intervalle de temps considéré, avec $M > 1$;
- la conclusion qu'il y a sensiblement colinéarité sur l'intervalle de temps considéré si les angles des N directions normales prises deux à deux sont dans deux fourchettes comprenant respectivement 0° et 180° .

[0013] Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, une détermination de l'orthogonalité de directions de l'accélération est effectuée, comprenant :

- la détermination d'un hyperplan par rapport à N points de mesure consécutifs issus du signal et la détermination d'une direction normale à ce plan, avec $N > 1$;
- l'itération de l'étape précédente sur deux ensembles de N points d'un intervalle de temps considéré;
- la conclusion qu'il y a sensiblement orthogonalité si l'angle entre les directions normales des deux hyperplans déterminés à l'étape précédente sont dans deux fourchettes comprenant respectivement 90° et 270° .

[0014] Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, la méthode comprend, en réponse à la détection d'un séisme, la génération d'un signal de contrôle d'un équipement de sécurisation d'une ressource comptée par le dispositif.

[0015] Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, la méthode comprend, en réponse à la détection d'un séisme, la génération d'un message d'alerte à destination d'un serveur. Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, un séisme n'est détecté dans le cas b) que si la magnitude de l'accélération dépasse un quatrième seuil, inférieur au premier seuil.

[0016] Un ou plusieurs modes de réalisation concernent un dispositif de détection de séisme comprenant une mémoire comportant du code logiciel et le processeur, le processeur étant adapté, lorsqu'il exécute le code, à conduire le dispositif à mettre en oeuvre l'une des méthodes ci-dessus.

[0017] Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, le dispositif comprend un accéléromètre en trois dimensions.

[0018] Un ou plusieurs modes de réalisation concernent un produit programme d'ordinateur comportant des instructions qui lorsqu'elles sont exécutées par au moins un processeur causent l'exécution d'une des méthodes décrites par ledit au moins un processeur.

[0019] Un ou plusieurs modes de réalisation concernent un support de stockage non transitoire comportant des instructions qui lorsqu'elles sont exécutées par au moins un processeur causent l'exécution d'une des méthodes décrites par ledit au moins un processeur.

Brève description des figures

[0020] D'autres caractéristiques et avantages apparaîtront au cours de la lecture de la description détaillée qui va suivre pour la compréhension de laquelle on se reportera aux dessins annexés parmi lesquels :

- la figure 1 est un diagramme schématique d'un système comprenant un dispositif selon un ou plusieurs modes de réalisation ;
- la figure 2 est un diagramme schématique illustrant un repère XYZ d'un capteur d'accélération 200 et un repère QLT des ondes sismiques ;
- la figure 3 est un algorithme d'une méthode selon un ou plusieurs exemples de réalisation ;
- la figure 4 est un graphe illustrant un exemple de filtre passe-bande selon un exemple de réalisation ;
- la figure 5 est un algorithme d'un procédé de calibrage selon un exemple de réalisation ;
- la figure 6 est un algorithme d'une méthode d'analyse 600 des composantes vectorielles selon un exemple de réalisation particulier ;
- la figure 7 est un exemple non limitatif de méthode de détermination de colinéarité et d'orthogonalité ;
- la figure 8 comporte deux graphes (a) et (b) représentant respectivement l'évolution d'un angle utilisé dans l'évaluation de la colinéarité ou de l'orthogonalité de déplacements dus à un séisme en fonction du temps et illustrant l'application de la méthode selon un ou plusieurs exemples de réalisation et la magnitude de l'accélération.

Description détaillée

[0021] Dans la description qui va suivre, des éléments identiques, similaires ou analogues seront désignés par les mêmes chiffres de référence. Les diagrammes blocs, algorithmes et diagrammes de séquence de messages dans les figures illustrent l'architecture, les fonctionnalités et le fonctionnement de systèmes, dispositifs, procédés et produits

programmes d'ordinateur selon un ou plusieurs exemples de réalisation. Chaque bloc d'un diagramme bloc ou chaque phase d'un algorithme peut représenter un module ou encore une portion de code logiciel comprenant des instructions pour l'implémentation d'une ou plusieurs fonctions. Selon certaines implémentations, l'ordre des blocs ou des phases peut être changé, ou encore les fonctions correspondantes peuvent être mises en oeuvre en parallèle. Les blocs ou phases de procédé peuvent être implémentés à l'aide de circuits, de logiciels ou d'une combinaison de circuits et de logiciels, et ce de façon centralisée, ou de façon distribuée, pour tout ou partie des blocs ou phases. Les systèmes, dispositifs, procédés et méthodes décrits peuvent être modifiés, faire l'objet d'ajouts et/ou de suppressions tout en restant dans le cadre de la présente description. Par exemple, les composants d'un dispositif ou d'un système peuvent être intégrés ou séparés. Également, les fonctions décrites peuvent être mises en oeuvre à l'aide de plus ou de moins de composants ou de phases, ou encore avec d'autres composants ou à travers d'autres phases. Tout système de traitement de données adapté peut être utilisé pour l'implémentation. Un système ou dispositif de traitement de données adapté comprend par exemple une combinaison de code logiciel et de circuits, tels un processeur, contrôleur ou autre circuit adapté pour exécuter le code logiciel. Lorsque le code logiciel est exécuté, le processeur ou contrôleur conduit le système ou dispositif à mettre en oeuvre tout ou partie des fonctionnalités des blocs et/ou des phases des procédés ou méthodes selon les exemples de réalisation. Le code logiciel peut être stocké dans une mémoire non volatile ou sur un support de stockage non volatile (clé USB, carte mémoire ou autre support) lisible directement ou à travers une interface adaptée par le processeur ou contrôleur.

[0022] La présente description concerne un dispositif de détection de séisme. Le contexte des exemples de réalisation particuliers est un compteur de ressources, ainsi que la mise en place d'une sécurisation en cas de détection de séisme. Ce contexte est donné à titre illustratif et ne doit pas être interprété pour limiter l'invention à ce seul contexte. Les ressources comptées comprenant par exemple des fluides (gaz, eau, carburant...) ou de l'énergie électrique. Une détection de séisme est de manière plus générale intéressante pour tout compteur dont la ressource peut être perdue ou qui peut provoquer des dégâts suite à un séisme.

[0023] La figure 1 est un diagramme schématique d'un système comprenant un dispositif 100 selon un ou plusieurs modes de réalisation. Le dispositif 100 est par exemple un compteur d'une ressource. Le dispositif 100 reçoit des données d'un accéléromètre trois dimensions 101. Ce capteur peut également être partie intégrante du dispositif 100. Le dispositif 100 comporte également un processeur et de la mémoire non volatile comportant du code logiciel pour la mise en oeuvre de la méthode de détection de séisme. Optionnellement, le compteur peut également posséder une interface de commande configurée pour déclencher une action de sécurisation, comme par exemple la fermeture d'une vanne 103.

[0024] Optionnellement, une interface de communication 102 connectée au dispositif 100 est configurée pour permettre la communication entre le dispositif 100 et un tiers, par exemple le serveur 104. L'interface de communication 102 peut être une interface sans fil, par exemple cellulaire, ou une interface vers un réseau filaire, par exemple un réseau téléphonique classique. Le dispositif 100 est adapté à informer le serveur 104 de la détection d'un séisme. Le serveur 104 peut alors déclencher une action, par exemple une information d'une autorité compétence 106, et/ou informer d'autres dispositifs 105, similaires au dispositif 100 pour que ces derniers enclenchent le cas échéant des actions de sécurisation à leur tour.

[0025] Optionnellement, le dispositif 100 est configuré pour transmettre une alerte de séisme directement à un ou plusieurs autres dispositifs 105 pour que ces derniers enclenchent le cas échéant des actions de sécurisation à leur tour. Selon une variante de réalisation, la transmission passe par le serveur 104, c'est-à-dire qu'une alerte est envoyée par le dispositif 100 au serveur 104, qui la transmet à un ou plusieurs dispositifs 105, comme par exemple les dispositifs 105 à proximité du dispositif 100 et par conséquent également exposés aux risques du séisme.

[0026] La transmission d'une alerte par le dispositif 100 à des dispositifs 105 et/ou le déclenchement d'une action par un dispositif 105 peuvent être soumises à un critère de proximité géographique entre le dispositif 100 et le ou les dispositifs 105. Optionnellement, le serveur 104 est en communication avec une pluralité de dispositifs 105 du type du dispositif 100 et peut recevoir des alertes de séisme de plusieurs dispositifs 100. Ceci permet d'adapter la stratégie de déclenchement d'une action - par exemple, il est possible de déclencher une action uniquement si plusieurs dispositifs 100 ont détecté un séisme.

[0027] Dans le contexte d'un dispositif 100 comportant une fonctionnalité de compteur, le dispositif 100 peut être amené à communiquer à intervalles réguliers ou sur demande des données de consommation de la ressource qu'il compte. Cette transmission est par exemple effectuée avec une périodicité d'une journée, et peut être déclenchée par une requête du serveur. Dans le cas d'une détection de séisme, le dispositif 100 est, selon un mode de réalisation particulier, configuré pour forcer la transmission d'un message, en s'affranchissant des contraintes liées à la transmission des données de comptage.

[0028] Certains principes physiques liés à un séisme vont maintenant être décrits. Lors d'un séisme, différents types d'ondes sismiques sont présentes, définies par leur vitesse de propagation, leur amplitude et leur polarisation. Les principaux types d'onde sont comme suit :

- les ondes 'P' (pour 'Primaires') - ces ondes se propagent rapidement et sont ressenties en premier ;
- les ondes 'S' (pour 'Secondaires') - ces ondes arrivent généralement après les ondes P ;

EP 4 575 587 A1

- les ondes de cisaillement - ces ondes arrivent généralement après les deux ondes précédentes et sont les plus destructrices.

[0029] Le tableau 1 présente un récapitulatif des principaux types d'onde générées durant un séisme.

[Tableau 1]

Ondes	P	S	Love	Rayleigh
Type d'onde	Compression	Cisaillement	Cisaillement	Cisaillement
Vitesse (km/s)	~5,6	~3,2	~3	~3
Dommages	Faibles	Moyens	Elevés	Elevés
Polarisation	Horizontale	Verticale	Horizontale	Rotationnelle

[0030] Le tableau 1 montre que plus les ondes sont tardives, plus elles sont généralement destructrices. Les actions de sécurisation et/ou les alertes doivent donc être déclenchées dès que possible. Une détection précoce est donc préférable.

[0031] La figure 2 est un diagramme schématisant un repère XYZ d'un capteur d'accélération 200 et un repère QLT des ondes sismiques. Un repère orthogonal lié au dispositif possède deux axes X et Y dans le plan de la surface 201 (supposée plane) et un axe Z à la verticale de cette surface. La direction de propagation des ondes sismiques de la source 202 vers le capteur 200 est indiquée par L et la direction orthogonale à la direction de propagation et dans le plan comprenant cette direction L, la source 202 et le capteur 200 par Q. Un axe T est perpendiculaire aux axes L et Q. Dans l'exemple illustré, les ondes P génèrent des accélérations suivant les axes X et Z, tandis que les ondes S génèrent des accélérations suivant les axes X et Y.

[0032] Le tableau 2 indique une échelle d'intensité de séisme, ainsi que pour chaque niveau de l'échelle : l'accélération, la vitesse, le tremblement ressenti, les dommages potentiels et l'effet sur certaines ressources. Le tableau montre (a) qu'un séisme peut être ressenti à partir d'une amplitude d'accélération d'environ 3 mg (2.97 mg dans le tableau) et (b) que les dommages apparaissent à partir d'une amplitude d'accélération d'environ 27 mg.

[Tableau 2]

Intensité mesurée	Accélération (g)	Vitesse (cm/s)	Tremblement ressenti	Dommages potentiels	Ressources
I	<0.000464	<0.0215	Aucun ressenti	Aucun	
II-III	0.000464 - 0.00297	0.135 - 1.41	Faible	Aucun	
IV	0.00297 - 0.00276	1.41-4.65	Léger	Aucun	
V	0.0276 - 0.115	4.65 - 9.64	Modéré	Très léger	Déclenchement de valves automatiques pour gaz domestique. Interruption de certaines conduites d'eau. Coupures de courant.
VI	0.115-0.215	9.64 - 20	Fort	Léger	Conduites d'eau et de gaz endommagées. Interruption de la fourniture de gaz et d'eau dans certaines régions.
VII	0.215 - 0.401	20 - 41.4	Très fort	Modéré	Comme à la ligne précédente.
VIII	0.401 - 0.747	41.4 - 85.8	Sévère	Modéré à important	Conduites d'eau et de gaz endommagées. Interruption de la fourniture de gaz, d'eau et d'électricité.
IX	0.747 - 1.39	85.8 - 178	Violent	Important	
X	>1.39	>178	Extrême	Très important	

[0033] Selon un ou plusieurs modes de réalisation, on cherche à détecter un séisme :

- i. à un moment situé entre l'arrivée des ondes P et avant l'arrivée des ondes de surface (ondes Love et Rayleigh), et/ou
- ii. au passage des ondes P aux ondes S.

[0034] Il est proposé de mettre en oeuvre un accéléromètre en trois dimensions pour capter les ondes dues au séisme. Les signaux issus de l'accéléromètre sont alors utilisés pour la détection du séisme.

[0035] Concernant le premier point, i, ci-dessus, une vérification sur la magnitude de l'accélération est réalisée. Si la magnitude dépasse un seuil, alors un séisme est détecté. Concernant le second point, ii, ci-dessus, les ondes P et les ondes S étant orthogonales, le passage des ondes P aux ondes S peut être détecté en effectuant une analyse directionnelle et en testant l'orthogonalité des axes d'accélération dans le temps.

[0036] Il est à noter que les déplacements générés par les ondes P sont colinéaires entre eux, et que les déplacements générés par les ondes S sont colinéaires entre eux.

[0037] Il est à noter qu'un séisme peut être détecté selon le second cas sans qu'il ne soit forcément détecté d'abord selon le premier cas. Cela peut par exemple arriver lorsque les ondes P détectées ne répondent pas aux critères de détection du premier cas.

[0038] Par ailleurs, les ondes sismiques possèdent généralement une fréquence située entre 0 et 50Hz. La vitesse de propagation augmente généralement avec la fréquence. Selon certains modes de réalisation, un filtre fréquentiel passe-bas est appliqué pour limiter la bande passante aux composantes fréquentielles correspondant à des ondes sismiques.

[0039] Selon certains modes de réalisation, un filtre fréquentiel passe-bande est appliqué pour limiter la bande passante aux composantes utiles. Les fréquences de coupure basse et/ou haute de ce filtre sont ajustées lors d'une phase de calibration décrite plus loin pour réduire l'impact du bruit ambiant sur la détection de séisme.

[0040] Selon les modes de réalisation, les filtres passe-bas et passe-bande sont combinés en un seul filtre, à savoir que la fréquence haute de ce filtre combiné filtre sensiblement les fréquences au-dessus de 50 Hz, mais peut être ajusté pour une fréquence de coupure haute moins élevée que 50 Hz.

[0041] Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, une calibration est effectuée sur le lieu d'installation, dans le but de distinguer le bruit ambiant des signaux dus à un séisme. Le bruit ambiant comprend par exemple le bruit généré par un ascenseur, par le trafic (routier, ferroviaire, aérien), par divers appareils et machines... La calibration est par exemple effectuée sur la base d'une semaine de mesures afin d'ajuster les paramètres mis en oeuvre dans la méthode, et notamment un ou plusieurs seuils. Le bruit ambiant sera ainsi filtré pour limiter tant les faux positifs que les faux négatifs. Selon certains modes de réalisation, les paramètres ajustables comprennent au moins l'un parmi : la fréquence de coupure basse du filtre passe-bande, la fréquence de coupure haute du filtre passe-bande, un seuil SA de magnitude de l'accélération de déclenchement initial de la détection de séisme sur base du signal de l'accéléromètre, et un seuil SB de magnitude de l'accélération appliqué après filtrage du signal de l'accéléromètre.

[0042] La figure 3 est un algorithme d'une méthode de détection de séisme selon un ou plusieurs exemples de réalisation non limitatifs. Le signal de l'accéléromètre est reçu en entrée. Il est vérifié en 301 si la magnitude de l'accélération dépasse le seuil de déclenchement initial SA. Ce seuil de déclenchement est choisi pour éviter des calculs inutiles et/ou limiter les faux positifs. Si le seuil de déclenchement SA n'est pas dépassé, alors aucun autre traitement du signal n'est entrepris - ce qui économise des ressources de traitement de signal - et aucun séisme n'est détecté (302). Si le seuil de déclenchement initial SA est dépassé, alors le signal en provenance de l'accéléromètre est soumis au filtrage fréquentiel passe-bas 303 limitant la bande passante à celle d'ondes générées lors d'un séisme. La mise en oeuvre du seuil SA est cependant optionnelle et il est tout à fait possible de passer directement au filtrage du signal. En 304, un filtrage supplémentaire est appliqué au signal, dans le but d'éliminer ou du moins de limiter l'influence du bruit ambiant. En 305, la magnitude de l'accélération, est comparée après filtrage à un seuil SB. Si le seuil SB n'est pas dépassé, alors aucun séisme n'est détecté (302). Si le seuil SB est dépassé, alors une analyse des composantes directionnelles de l'accélération est réalisée en 306. Selon les résultats de cette analyse vérifiés en 307, soit aucun séisme n'est détecté (302), soit un séisme est détecté (308).

[0043] Selon certains modes de réalisation, en cas de détection de séisme, des actions de sécurisation déclenchées par la détection peuvent notamment comporter l'actionnement d'un élément de coupure de la ressource associée au compteur (vanne, sectionneur...). Selon certains modes de réalisation, en cas de détection d'un séisme, une alerte est transmise à un distributeur ou fournisseur de la ressource et/ou à une autorité compétente.

[0044] La figure 4 est un graphe illustrant un exemple de filtre passe-bande résultant de la combinaison d'un filtre passe-bas et d'un filtre passe-haut et réalisant le filtrage en 303 et 304. Les filtres passe-haut et passe-bas peuvent être réalisés numériquement sur la base respective des équations 1 et 2 :

[Math. 1]

$$\sqrt{1 - (e^{-3\frac{f}{f_0}})}$$

[Math. 2]

$$\frac{1}{\sqrt{\sum_0^6 a_{2 \times i} \times x^{2 \times i}}}$$

f_0 est la fréquence de coupure du filtre passe-haut, f_1 est la fréquence de coupure du filtre passe-bas et f est la fréquence.

[0045] Le tableau 3 donne des exemples de valeurs des différents paramètres :

[Tableau 3]

x	= f/f1
f1	= 10
f0	= 0.5
a0	= 1
a2	= 0.694
a4	= 0.241
a6	= 0.0557
a8	= 0.009664
a10	= 0.00134
a12	= 0.000155

[0046] Un calibrage d'un ou plusieurs paramètres est effectué dans le but de limiter l'impact de bruit ambiant sur la détection d'un séisme. Le bruit ambiant peut par exemple comprendre le bruit environnemental et/ou le bruit généré le cas échéant par la ressource elle-même (bruit généré par un liquide par exemple).

[0047] La figure 5 est un algorithme d'un procédé de calibrage selon un exemple de réalisation. Cet algorithme ajuste plusieurs paramètres. Il est à noter qu'il est tout à fait possible, selon l'implémentation, de n'ajuster qu'une partie de ces paramètres.

[0048] Le procédé de calibrage 500 illustré par la figure 5 reçoit en entrée une durée 501 de l'intervalle de données de calibrage. Cette durée peut être fixe ou ajustable. Elle est par exemple d'une semaine, pour couvrir une variété d'événements pendant les jours ouvrés et en fin de semaine. Le procédé reçoit également en entrée des valeurs initiales 502 des seuils SA et SB et des fréquences de coupure f_0 (passe-bas) et f_1 (passe-haut).

[0049] Des mesures 503 sont alors obtenues sur la durée spécifiée et une détection de séisme est alors réalisée en 504 sur base de ces mesures. Les faux positifs 505 et faux négatifs 506 sont alors manuellement libellés. Un ajustement des paramètres est réalisé sur cette base en 507. Si par exemple des bruits parasites tombent dans la bande de fréquence du filtre, alors les fréquences de coupure peuvent être ajustées pour exclure les fréquences de ces bruits. Si les bruits parasites ont une magnitude trop élevée par rapport aux seuils, ceux-ci sont relevés.

[0050] L'analyse des composantes vectorielles de l'accélération a pour but de caractériser la présence d'ondes P ou le passage des ondes P à des ondes S. Cette analyse est basée sur le fait que les déplacements générés par un type d'onde sont colinéaires entre eux et que les déplacements entre les ondes P et S sont orthogonales. La présence d'ondes sismiques peut donc être déterminée en estimant la colinéarité des mouvements représentés par des points de mesure successifs où un point est une mesure de l'accélération dans les trois dimensions. Si la colinéarité est avérée sur une certaine durée, alors cela peut signifier la présence d'une onde. De plus, l'orthogonalité des mouvements entre deux séries de points colinéaires peut indiquer le passage d'ondes P à des ondes S.

[0051] La figure 6 est un algorithme d'une méthode d'analyse 600 des composantes vectorielles selon un exemple de réalisation particulier. La méthode de la figure 6 reçoit en entrée (en 601) une N nuages de points de mesure, avec $N > 1$. Selon un mode de réalisation, N est paramétrable en fonction de la sensibilité désirée, des capacités de calcul et des performances de l'accéléromètre. Un nuage comporte une pluralité de points de mesure, dont le nombre peut être variable

en fonction de la fréquence d'échantillonnage. Par exemple, on peut considérer une fréquence d'échantillonnage autour de 100Hz, entre 3 et 100 points par nuage, et jusqu'à 50 nuages. Ces valeurs sont données à titre illustratif et d'autres valeurs peuvent bien entendu être envisagées.

[0052] Dans un premier temps, en 602, une magnitude de l'accélération déterminée pour un nuage est comparée à un premier seuil S1. Cette magnitude correspond - par exemple - à la médiane des points du nuage, mais d'autres façons de calculer cette magnitude peuvent être envisagées. Le seuil S1 est - par exemple - situé entre 10mg et 100mg. Si le seuil S1 est atteint ou dépassé, alors une estimation de la colinéarité des mouvements correspondant à deux nuages successifs est effectuée sur M nuages, en 603. M est pris supérieur ou égal à 2. Si les mouvements sont colinéaires sur les M nuages, alors un séisme est détecté (604). Ceci correspond au cas 'i' évoqué plus haut - des ondes de type P, avec une magnitude de l'accélération relativement élevée dépassant un seuil S1.

[0053] Il se peut cependant que la magnitude détectée des ondes P soit en dessous du seuil S1. Dans ce cas, les ondes de type P passent inaperçues. Cependant, on teste alors en 605 si la magnitude est supérieure à un seuil S2, avec $S2 < S1$. Si c'est le cas, alors on teste en 606 pour une colinéarité, la présence d'une orthogonalité en 607, suivi d'une colinéarité en 608. Chacun de ces trois tests peut être effectué sur M nuages successifs, mais le nombre de nuages peut être différent pour chacun des trois tests.

[0054] A titre purement illustratif, S1 et S2 ont par exemple les valeurs respectives de 20 mg et de 10 mg.

[0055] Selon un mode de réalisation, on considère des nuages de points successifs dans le temps. Un hyperplan est associé avec chaque nuage de points. Chaque plan est associé avec une direction de mouvement. Un critère de colinéarité et/ou d'orthogonalité est évalué pour les directions d'hyperplans successifs.

[0056] La figure 7 est un exemple non limitatif de méthode 700 de détermination de colinéarité et d'orthogonalité.

[0057] La méthode reçoit en entrée en 701 les points de mesure en trois dimensions d'un des nuages. Un filtrage des points aberrants peut alors être effectué selon une méthode connue en tant que telle pour limiter les mesures bruitées, en 702. Des points de mesure filtrés sont ainsi obtenus en 703. Les points sont alors normalisés en 704. Sur la base de ces points normalisés (705), un score de colinéarité est établi en 706. Ce score peut par exemple être basé sur un calcul de covariance. Si ce score est en dessous d'un seuil de colinéarité, alors il est jugé que les points du nuage ne sont pas colinéaires et l'on passe à un autre nuage de points. Ce test est effectué en 707. Si le score de colinéarité est supérieur ou égal au seuil, alors l'hyperplan relatif aux points du nuage est déterminé en 708, par exemple sur base d'une fonction polynomiale par laquelle on détermine un plan minimisant la distance entre les points du nuage et ce plan. L'hyperplan obtenu (709) est utilisé pour déterminer en 710 un vecteur normal à cet hyperplan.

[0058] Un vecteur normal est déterminé par nuage. Par exemple, pour deux nuages consécutifs n-1 et n (référéncés 712 et 713 dans la figure 7), deux vecteurs normaux A et B (références 714 et 715) sont obtenus. Un angle Θ entre les deux vecteurs normaux est déterminé (716). Selon la valeur de Θ , la colinéarité des deux vecteurs ou leur orthogonalité est déterminée. Les deux vecteurs peuvent également être ni colinéaires, ni orthogonaux. Selon le présent exemple de réalisation, les deux vecteurs sont considérés comme colinéaires si Θ est compris entre -10° et $+10^\circ$ ou entre 170° et 190° , et comme orthogonaux si Θ est compris entre -80° et -100° ou entre $+80^\circ$ et $+100^\circ$.

[0059] Ces seuils peuvent optionnellement être ajustables, par exemple pour tenir compte de la dispersion de l'accéléromètre.

[0060] La figure 8 montre deux exemples de graphes illustrant l'application de la méthode selon un ou plusieurs exemples de réalisation. Le graphe supérieur (a) de la figure 8 représente l'angle Θ entre nuages de points successifs en degrés en fonction du temps, tandis que le graphe inférieur (b) représente la magnitude des accélérations en g représentée en échelle logarithmique en fonction du temps. L'unité de temps est le 10^e de seconde. Le graphe (a) met en valeur une première partie 801 de la courbe, représentant une valeur d'angle de moins de 10 degrés sur un intervalle de temps relativement long. Cette partie correspond à une zone de colinéarité. Une seconde partie 802 de la courbe, suivant la première partie, montre une forte pointe de l'angle, correspondant à une orthogonalité, suivie d'une troisième partie 803, où l'angle revient vers une valeur autour de 10° pendant un certain intervalle de temps, correspondant à une seconde zone de colinéarité. Il est à noter que le graphe de la figure 8 est lissé et de ce fait la valeur seuil de 80° précédemment indiquée ne semble pas atteinte dans ce graphe. La première zone de colinéarité correspond à des ondes de type P, tandis que la seconde zone de colinéarité correspond à des ondes de type S, car précédée d'une zone indiquant une orthogonalité entre les mouvements entre respectivement les première et seconde zones de colinéarité. Le graphe (b) comporte une ligne horizontale 804 correspondant à une magnitude d'accélération de 20mg. On voit que la première zone de colinéarité, correspondant aux ondes de type P, coïncide avec une augmentation importante de la magnitude de l'accélération.

Revendications

1. Méthode de détection d'un séisme mise en oeuvre par un dispositif (100) comportant au moins un processeur et une mémoire comportant du code logiciel, l'au moins un processeur amenant le dispositif à mettre en oeuvre la méthode

lorsqu'il exécute le code logiciel, la méthode comprenant :

- la réception d'un signal représentatif de mesures d'une accélération en trois dimensions du dispositif en fonction du temps, le signal étant reçu d'un capteur accéléromètre ;
- le filtrage fréquentiel du signal (303, 304), le filtrage étant configuré avec une fréquence de coupure basse (f_1) et une fréquence de coupure haute (f_0) pour exclure au moins des fréquences ne correspondant pas à des fréquences d'ondes sismiques ;
- la détermination (306, 600), à partir du signal filtré, de données représentatives de directions de l'accélération en fonction du temps ;
- un séisme étant détecté (604) si

- a) la magnitude de l'accélération est supérieure (603) à un premier seuil (S_1) et les directions de l'accélération sont sensiblement colinéaires entre elles pendant un premier intervalle de temps; ou
- b) les directions de l'accélération sont sensiblement colinéaires entre elles pendant un second intervalle de temps (606) et que les directions de l'accélération sont sensiblement colinéaires entre elles pendant un troisième intervalle de temps (608) postérieur au second intervalle de temps, et que les directions de l'accélération du second intervalle et du troisième intervalle sont sensiblement orthogonales (607).

2. Méthode selon la revendication 1, dans laquelle les fréquences de coupure sont adaptées (507) pour exclure des fréquences correspondant à du bruit en provenance de l'environnement du dispositif.

3. Méthode selon la revendication 1 ou 2, dans laquelle la détermination de données représentatives de directions de l'accélération en fonction du temps n'est effectuée que si une magnitude de l'accélération dépasse un second seuil (S_A) avant le filtrage du signal (301) et dépasse un troisième seuil (S_B) après le filtrage du signal (305).

4. Méthode selon la revendication 3, dans laquelle les second et troisième seuils sont adaptés (507) pour être au-dessus de magnitudes d'accélération correspondant à du bruit en provenance de l'environnement du dispositif.

5. Méthode selon la revendication 3, respectivement la revendication 4, comprenant l'adaptation des fréquences de coupure, respectivement l'adaptation du second seuil et du troisième seuil, en fonction de données labellisées historiques de l'accélération dans un lieu de fonctionnement du dispositif.

6. Méthode selon l'une des revendications 1 à 5, dans laquelle une détermination de la colinéarité de directions de l'accélération est effectuée, comprenant :

- la détermination d'un hyperplan (709) par rapport à N points de mesure consécutifs issus du signal et la détermination d'une direction normale à ce plan, avec $N > 1$;
- l'itération de l'étape précédente sur M ensembles de N points d'un intervalle de temps considéré, avec $M > 1$;
- la conclusion (717) qu'il y a sensiblement colinéarité sur l'intervalle de temps considéré si les angles des N directions normales prises deux à deux sont dans deux fourchettes comprenant respectivement 0° et 180° .

7. Méthode selon l'une des revendications 1 à 6, dans laquelle une détermination de l'orthogonalité de directions de l'accélération est effectuée, comprenant :

- la détermination d'un hyperplan (709) par rapport à N points de mesure consécutifs issus du signal et la détermination d'une direction normale à ce plan, avec $N > 1$;
- l'itération de l'étape précédente sur deux ensembles de N points d'un intervalle de temps considéré;
- la conclusion (717) qu'il y a sensiblement orthogonalité si l'angle entre les directions normales des deux hyperplans déterminés à l'étape précédente sont dans deux fourchettes comprenant respectivement 90° et 270° .

8. Méthode selon l'une des revendications 1 à 7, comprenant, en réponse à la détection d'un séisme, la génération d'un signal de contrôle d'un équipement de sécurisation d'une ressource comptée par le dispositif.

9. Méthode selon l'une des revendications 1 à 8, comprenant, en réponse à la détection d'un séisme, la génération d'un message d'alerte à destination d'un serveur.

10. Méthode selon l'une des revendications 1 à 9, dans laquelle un séisme n'est détecté dans le cas b) que si la magnitude de l'accélération dépasse un quatrième seuil (S_2), inférieur au premier seuil.

EP 4 575 587 A1

11. Dispositif (100) de détection de séisme comprenant une mémoire comportant du code logiciel et le processeur, le processeur étant adapté, lorsqu'il exécute le code, à conduire le dispositif à mettre en oeuvre la méthode selon l'une des revendications 1 à 9.

5 **12.** Dispositif selon la revendication 11, comprenant l'accéléromètre en trois dimensions (101).

13. Produit programme d'ordinateur comportant des instructions qui lorsqu'elles sont exécutées par au moins un processeur causent l'exécution de la méthode selon l'une des revendications 1 à 10 par ledit au moins un processeur.

10 **14.** Support de stockage non transitoire comportant des instructions qui lorsqu'elles sont exécutées par au moins un processeur causent l'exécution de la méthode selon l'une des revendications 1 à 10 par ledit au moins un processeur.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

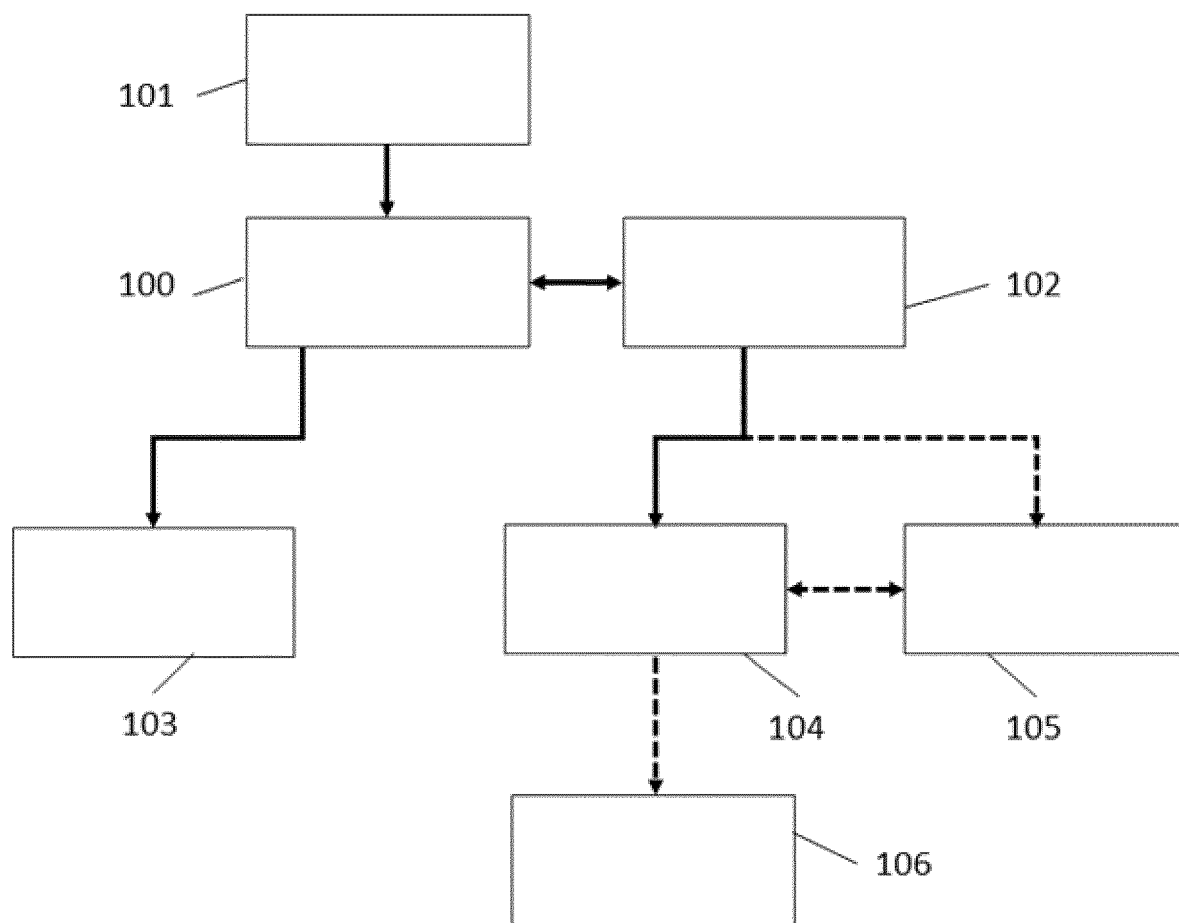


Fig. 1

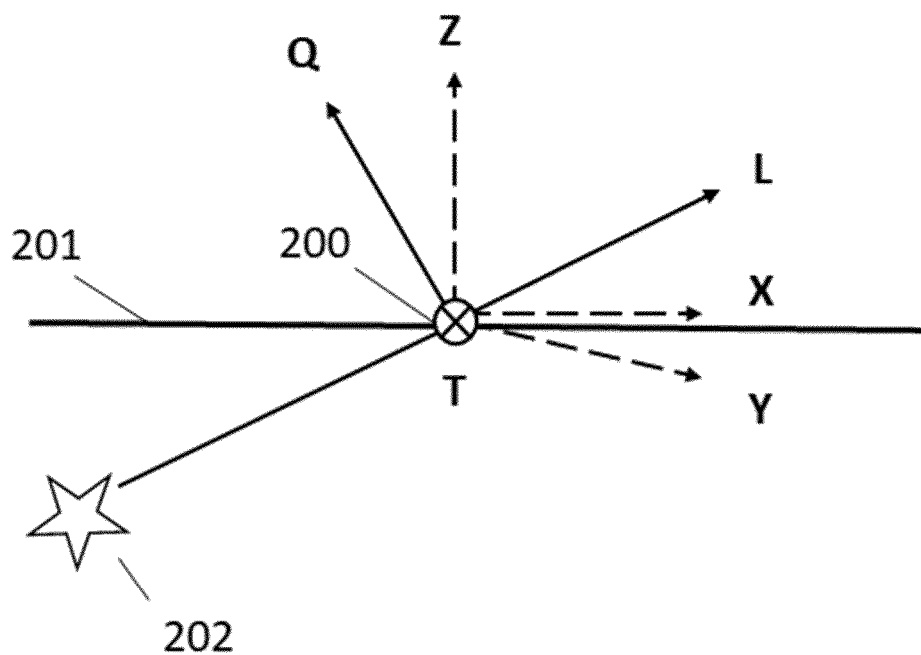


Fig. 2

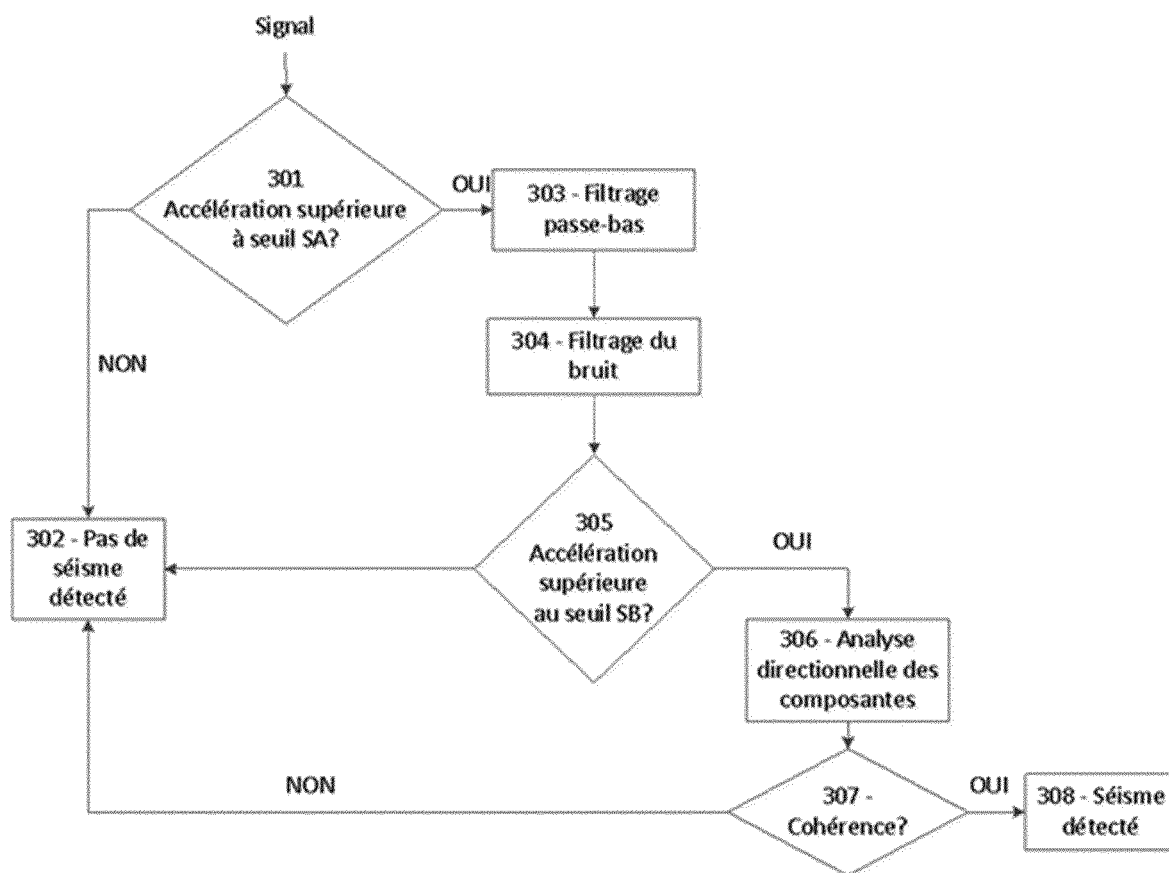


Fig. 3

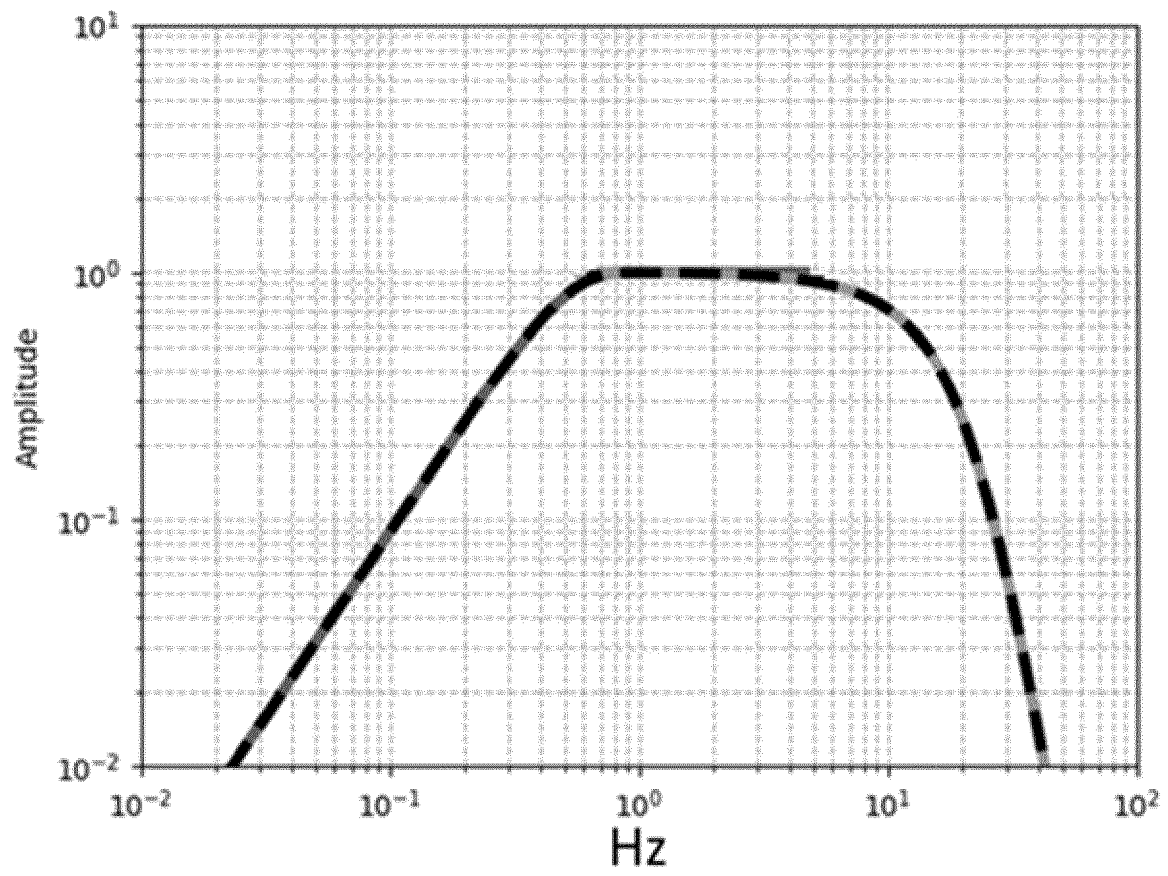


Fig. 4

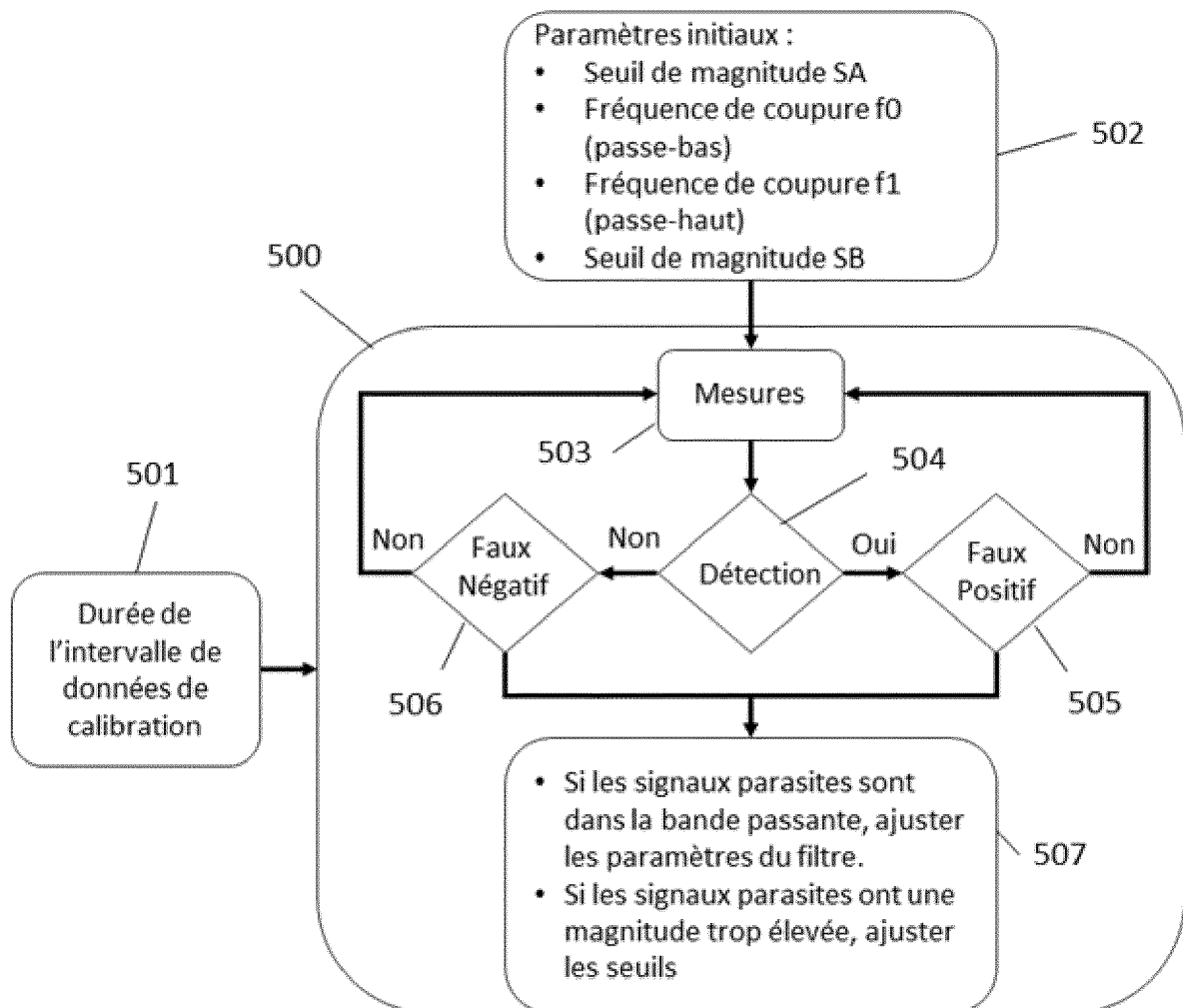


Fig. 5

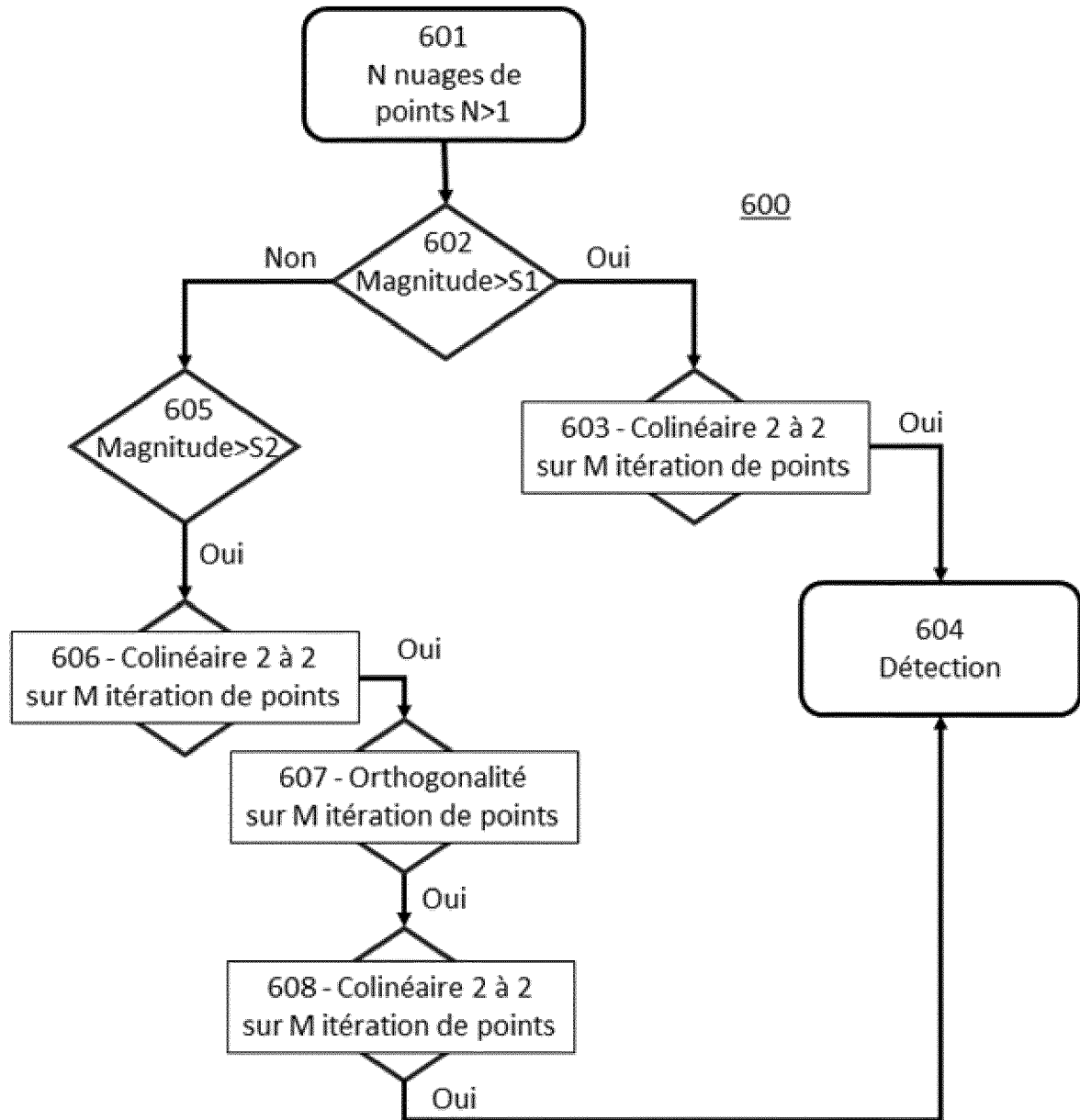


Fig. 6

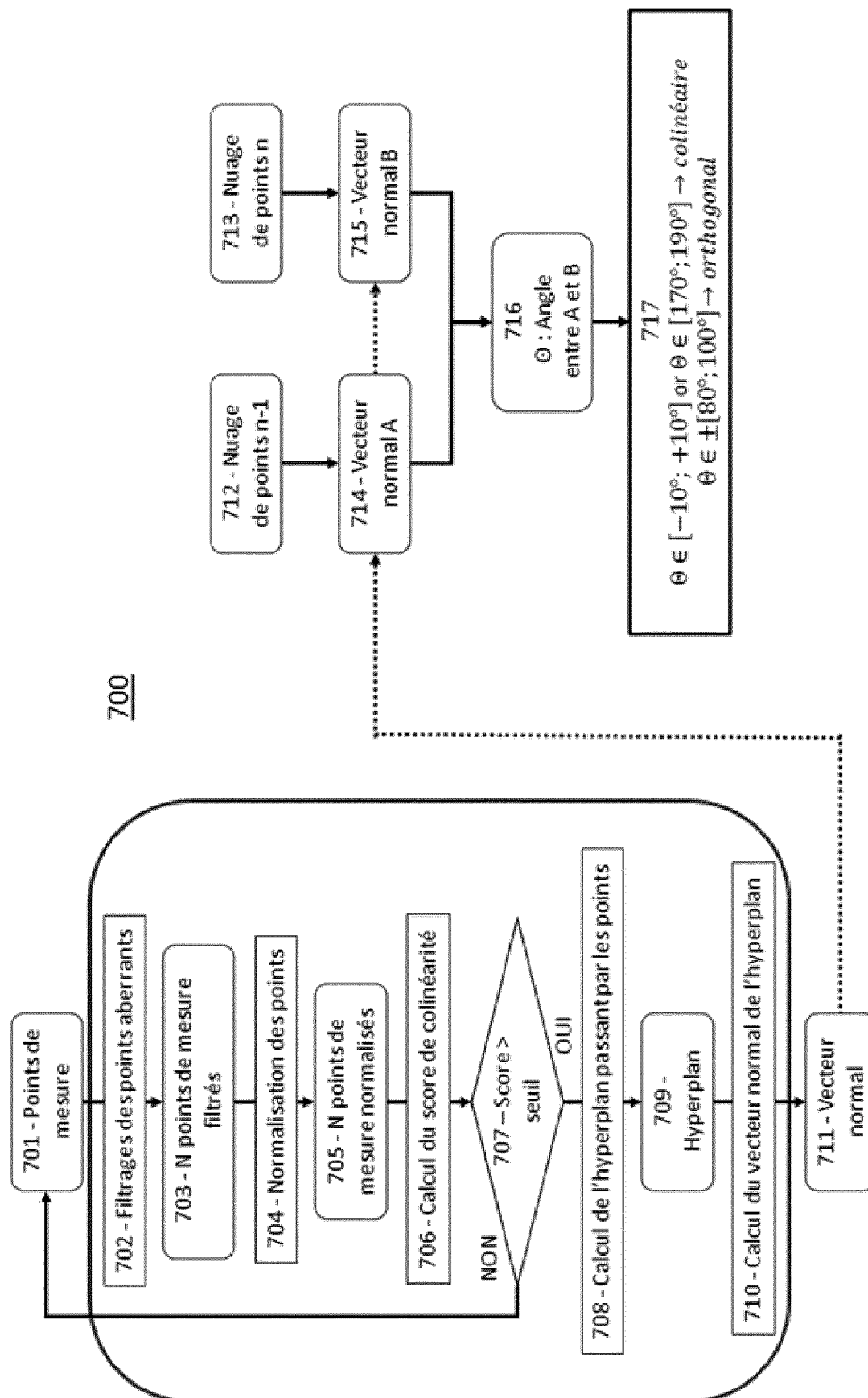


Fig. 7

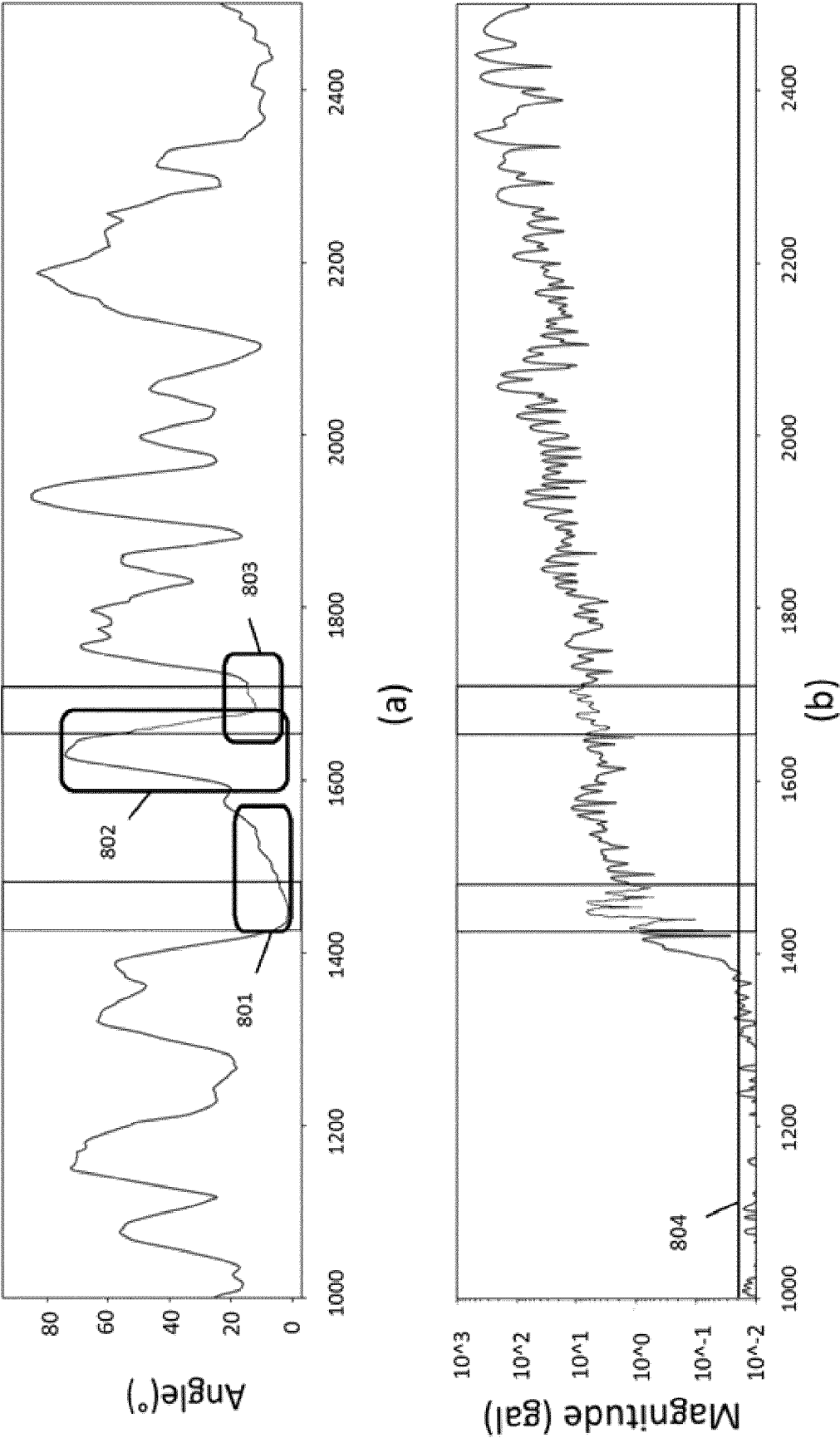


Fig. 8



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 24 22 0901

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	KR 2022 0067588 A (DONG IL ICT CO LTD [KR]) 25 mai 2022 (2022-05-25) * alinéas [0001], [0021], [0022], [0029], [0031], [0032], [0036] *	1-14	INV. G01V1/01
A	US 10 876 277 B1 (FATEHI MOHAMMAD TAGHI [US] ET AL) 29 décembre 2020 (2020-12-29) * col. 27, l. 48-55 *	1-14	
A	US 2013/328688 A1 (PRICE MICHAEL JOHN [US] ET AL) 12 décembre 2013 (2013-12-12) * alinéa [0025] *	1-14	
A	US 2021/356612 A1 (KENDALL ROBERT [CA] ET AL) 18 novembre 2021 (2021-11-18) * revendication 1 *	1-14	
A	US 2021/124070 A1 (MINO HIROYUKI [JP] ET AL) 29 avril 2021 (2021-04-29) * figures 3, 4 *	1-14	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			G01V
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		17 avril 2025	Pitzer, Hanna
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 24 22 0901

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de
recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

17-04-2025

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
KR 20220067588 A	25-05-2022	AUCUN	
US 10876277 B1	29-12-2020	US 10876277 B1	29-12-2020
		US 11572678 B1	07-02-2023
US 2013328688 A1	12-12-2013	AU 2011343454 A1	04-07-2013
		CA 2821718 A1	21-06-2012
		CL 2013001751 A1	31-01-2014
		CN 103460073 A	18-12-2013
		EP 2652529 A2	23-10-2013
		JP 2014503818 A	13-02-2014
		JP 2016194530 A	17-11-2016
		NZ 612013 A	31-07-2015
		NZ 709456 A	27-01-2017
		PE 20140367 A1	22-03-2014
		PH 12013501251 A1	25-03-2019
		TW 201248562 A	01-12-2012
		US 2013328688 A1	12-12-2013
		WO 2012083294 A2	21-06-2012
US 2021356612 A1	18-11-2021	CA 3118226 A1	12-11-2021
		CA 3118291 A1	12-11-2021
		US 2021356612 A1	18-11-2021
US 2021124070 A1	29-04-2021	CN 110546533 A	06-12-2019
		EP 3647824 A1	06-05-2020
		JP 6465257 B1	06-02-2019
		JP WO2019003504 A1	27-06-2019
		US 2021124070 A1	29-04-2021
		US 2022268956 A1	25-08-2022
		WO 2019003504 A1	03-01-2019

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82